



Poul L. Bjerg, Ursula McKnight, Vinni Rønde, Anne Sonne, Nicola Balbarini, Filip Floks, Gregory Lemaire, Christian Köppl, Filippo Bandini, Thea C. Thiim, Agnete M. Nørregaard, Monica Garcia, Peter Bauer-Gottwein og mange andre

Region Syddanmark, Region Hovedstaden, Drone Systems, WSP og mange andre bidragydere

Hvordan kan drone-baserede målinger anvendes ifbm undersøgelse af jordforureningers påvirkning af overfladevand?

Brug af drone data giver nye muligheder

- Overblik over vandløbssystemer ved brug af dronebilleder (Aerial RGB photos/ortho mosaic)
- Potentialekort og vandløbskoter (Water surface elevation)
- Rumlig variation af indstrømning og slyngning (Aerial RGB photos/ortho mosaic)
- Identifikation af udsivningsområder fra dræn o.l. (Thermal camera mapping)
- Vandføring og vandløbsprofiler (Water surface velocity and discharge)
- *Vandprøvetagning i vandløb/Hvor skal jeg tage vandprøven i åen?*
- Fortynding og opblanding i vandløb (Tracertest)
- Modellering af fortynding og koncentrationer i vandløb- nøgleparametre

- Vi har erfaringer med vandløbsundersøgelser, forurenede grunde og droner fra:
 - **Grindsted Å**
 - **Mølleåen/Rådvad**
 - **Nivå/Usserød Å**

"Grindstedværket"



Chlorinated ethenes

BTEX, **Benzene**, Toluene, Ethylbenzene, Xylenes

Pharmaceuticals

Kompleks forureningsfane udsiver til overfladevand

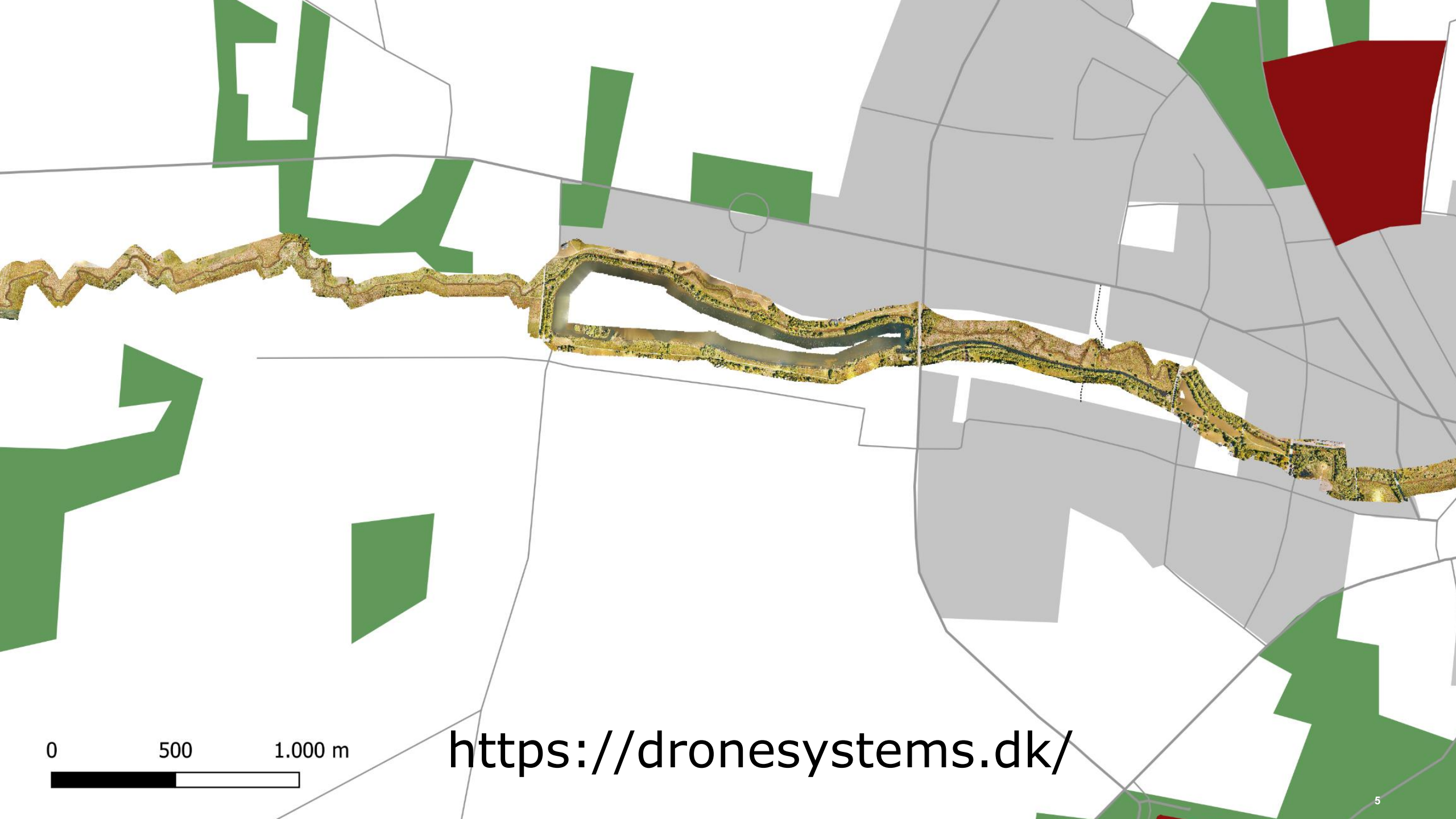
- Kontinuert forureningskilde
- Påvirkning af Grindsted å
- Forureningen matcher "Grindstedværkets" forureninger

Balbarini et al. (2020). *Groundwater*, 58, 208-223.

Rønde et al. (2017). *Journal of Contaminant Hydrology*. 206, 43-54.

Sonne et al. (2017). *Water Research*, 125, 141-151.

Sonne et al. (2018). *Science of the Total Environment*. 642, 1153-1162.



0 500 1.000 m

<https://dronesystems.dk/>

<https://dronesystems.dk/>



0 25 50 m

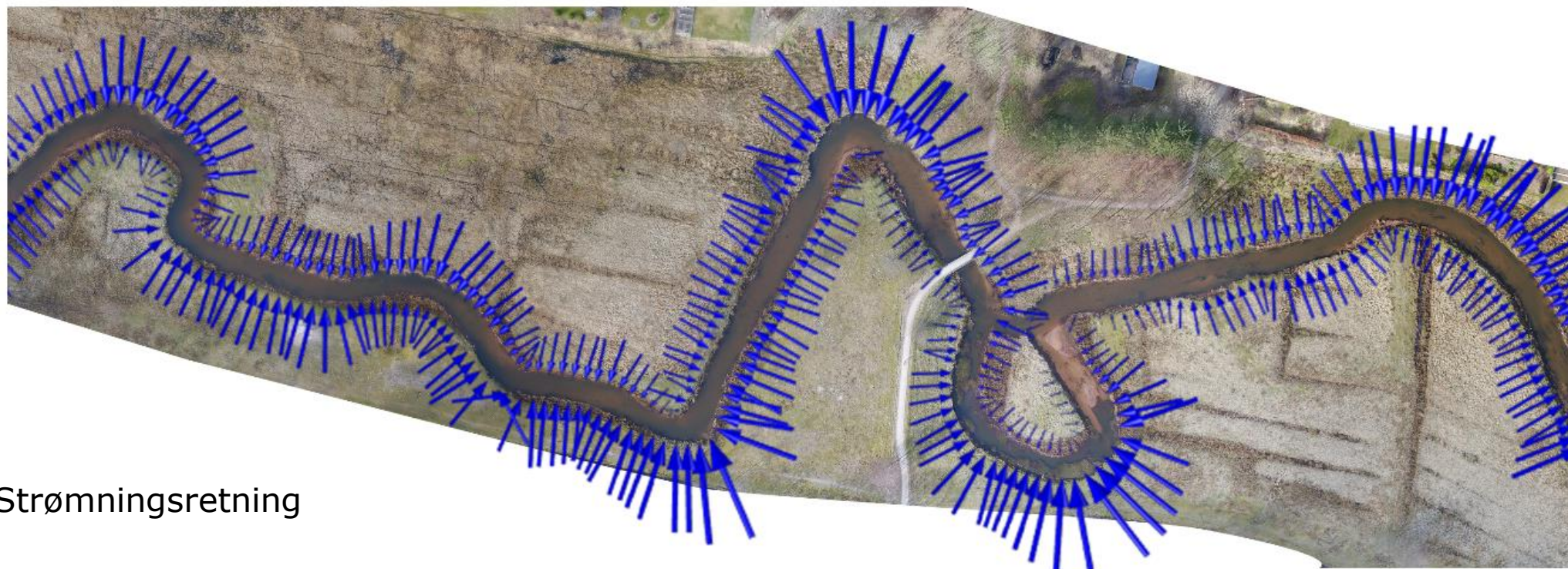


<https://dronesystems.dk/>



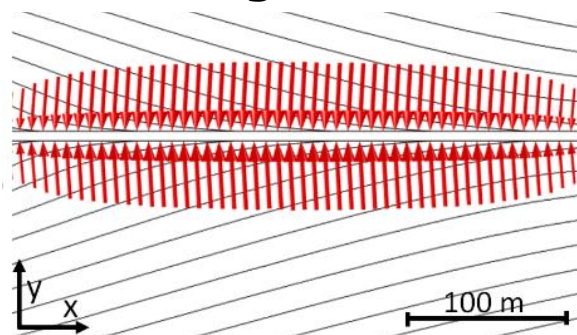
Rumlig variation af indstrømning

Balbarini et al. (2017).
Journal of Hydrology.
552, 168-181.

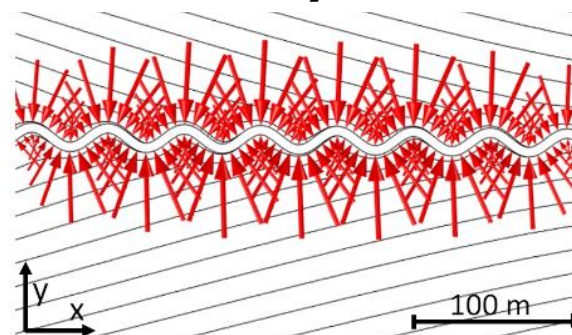


← Strømningsretning

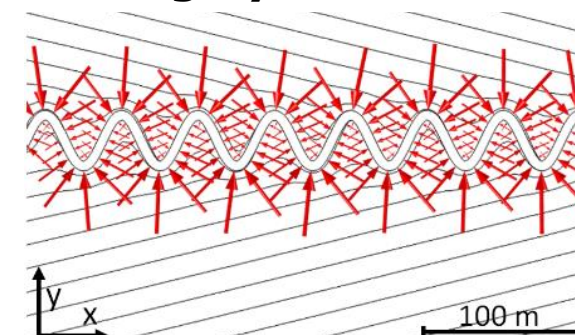
Straight stream



Moderately sinuous



Highly sinuous

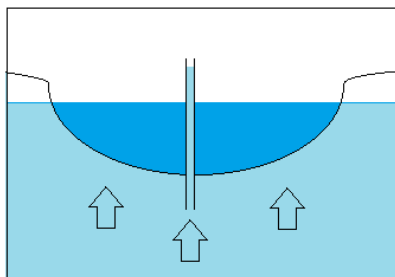


Grindsted område

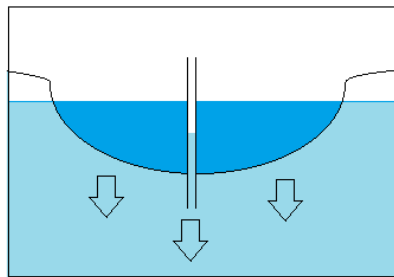
Niveau af vandløbsoverflade

- Anvendelige ved kortlægning grundvandsstrømning
- Hydrauliske gradienter
- Potentialekort
- Vandløbets fald/gradient

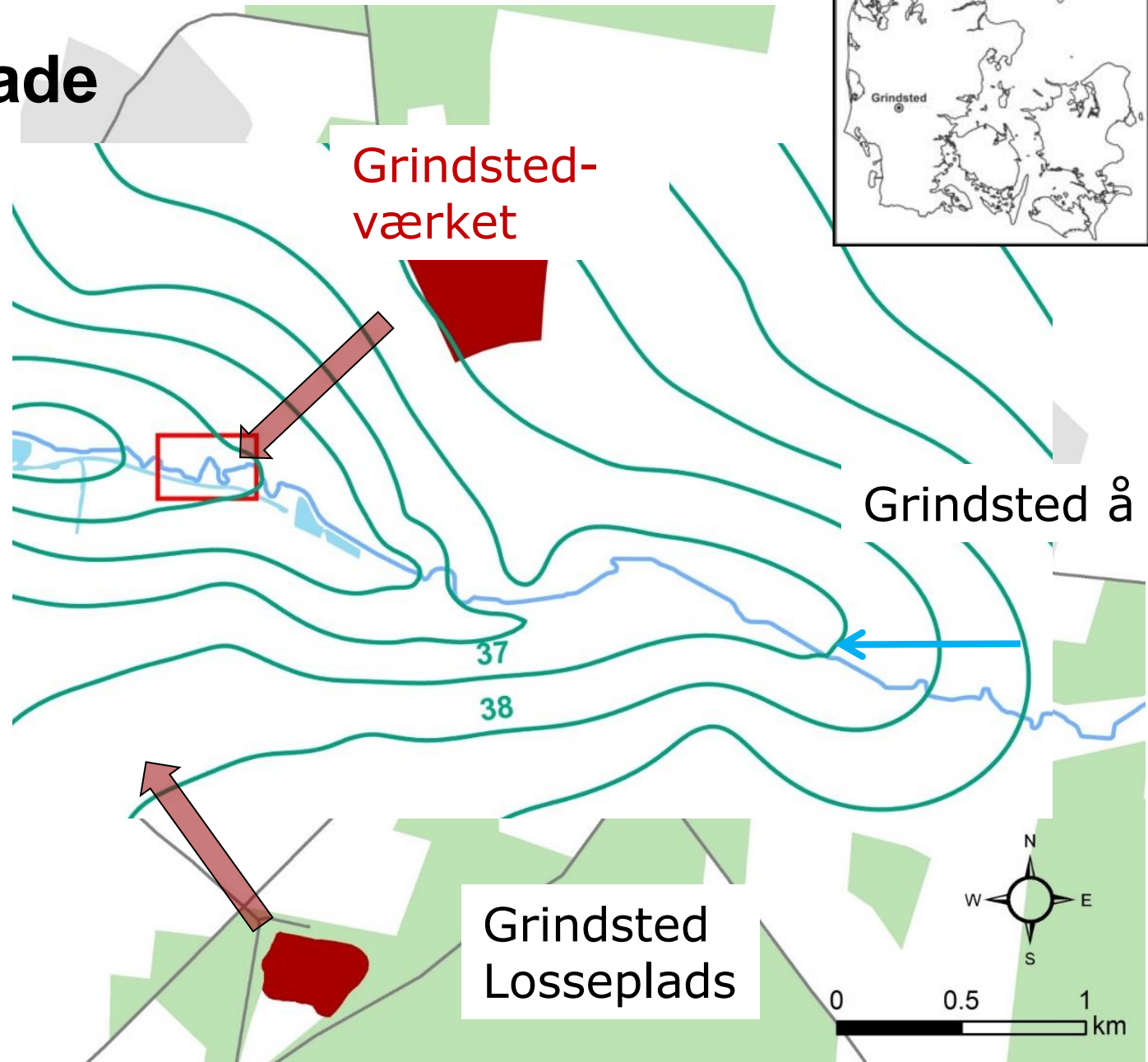
- Strømnings- og vandløbsmodeller
 - Kalibrering
 - Randbetingelser



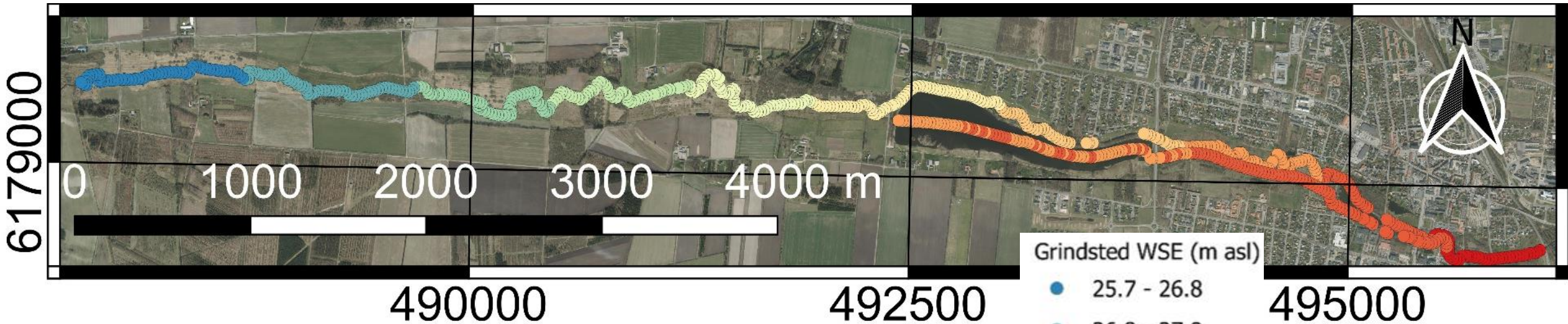
(a)



(b)



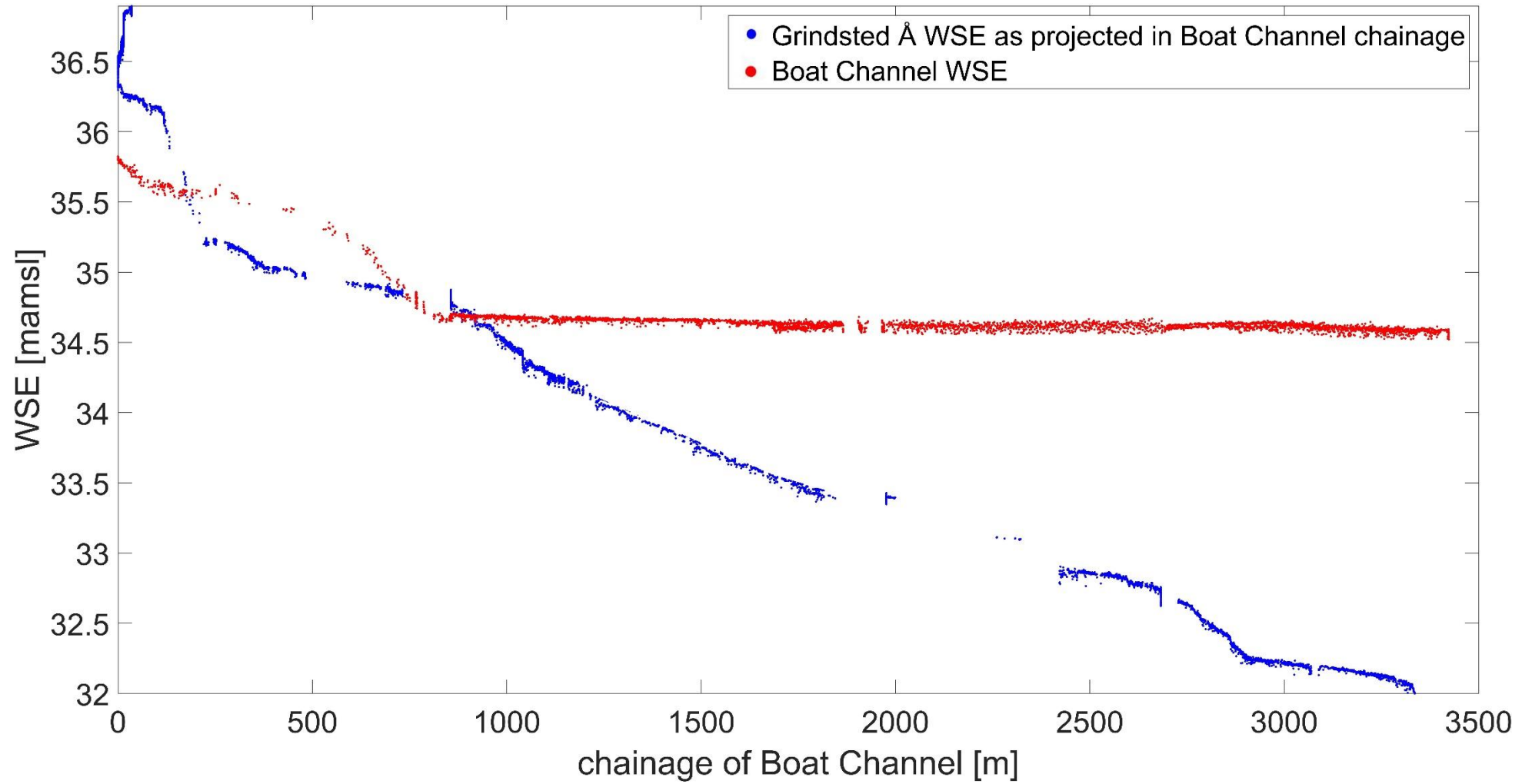
Niveau af vandløbsoverflade/Water Surface Elevation/WSE Grindsted Å og bådkanal



Background map from [Geodatastyrelsen](https://www.geodatastyrelsen.dk/)

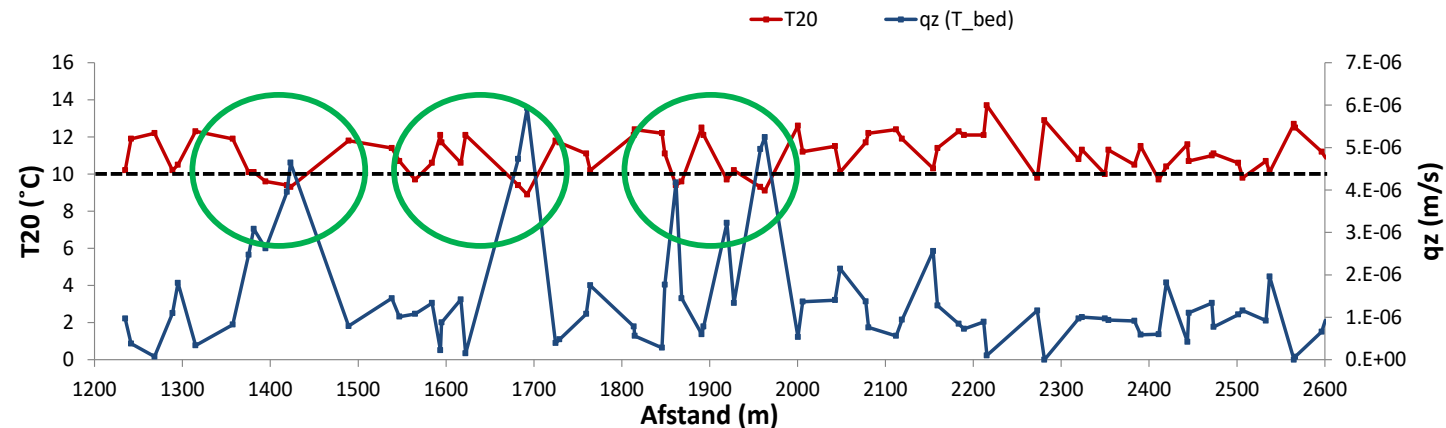
Filippo Bandini, DTU Environment, fbn@env.dtu.dk

WSE i bådkanal og Grindsted Å

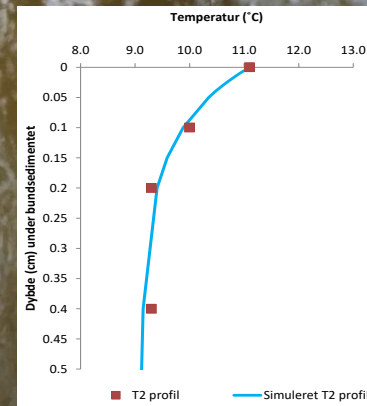
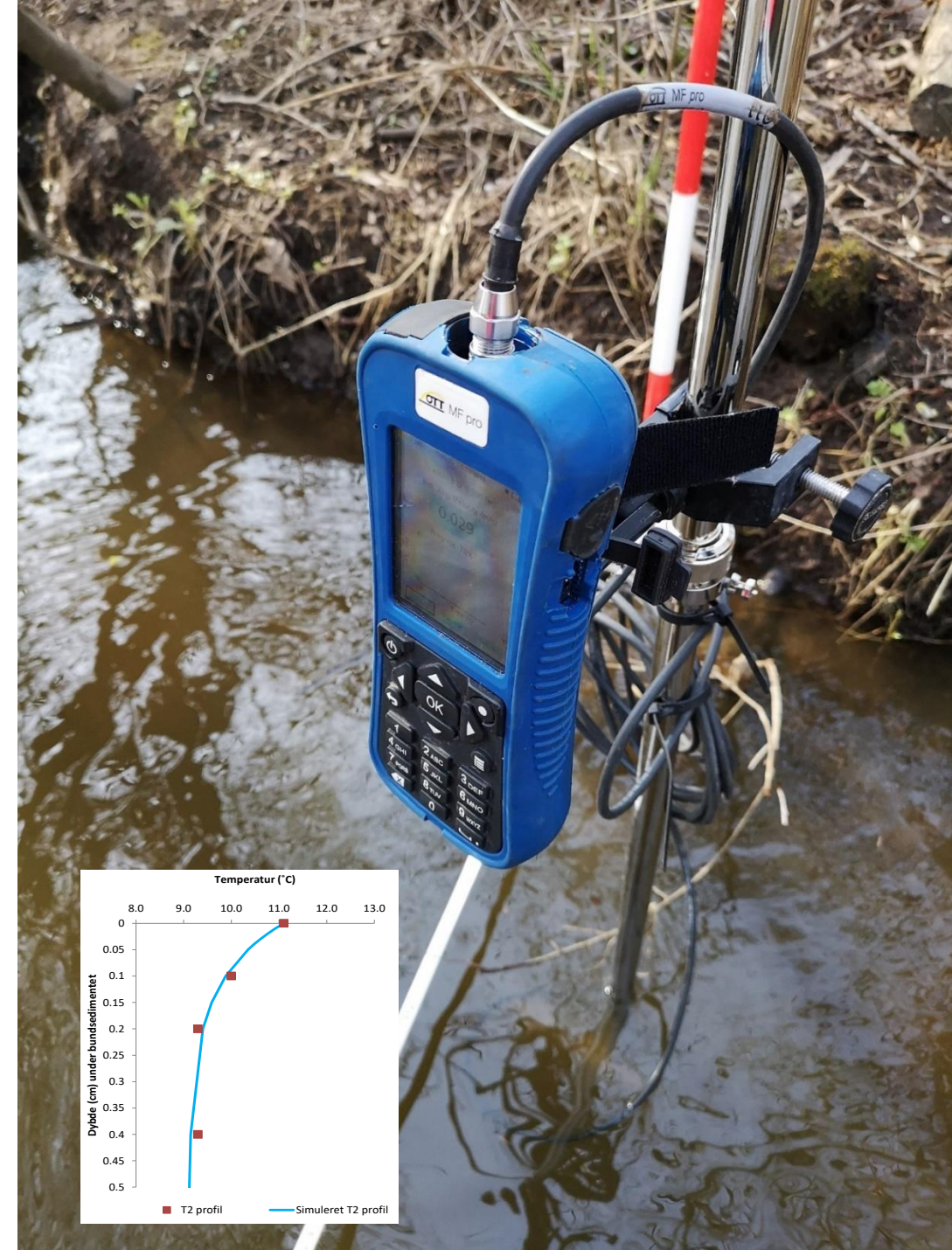


Identifikation af udsivningsområder ved brug af brug af temperaturdata

- Screening med brug af temperaturspyd
- Vertikale profiler med temperaturspyd
- Temperaturmålinger med fiberoptisk kabel
- **Temperaturdata fra dronemålinger**



$$T(z) = T_0 + (T_{GW} - T_0) \frac{\exp\left[N_{pe} \left(\frac{z}{L}\right)\right] - 1}{\exp(N_{pe}) - 1}$$



Temperaturdata

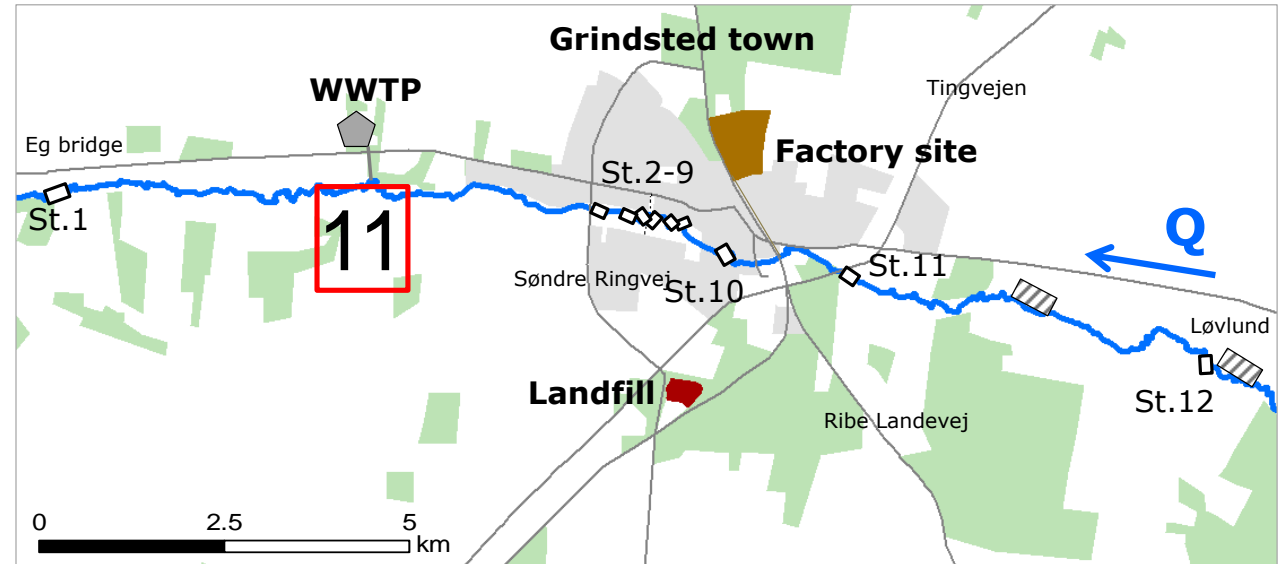


Temperaturdata



Temperaturkortlægning

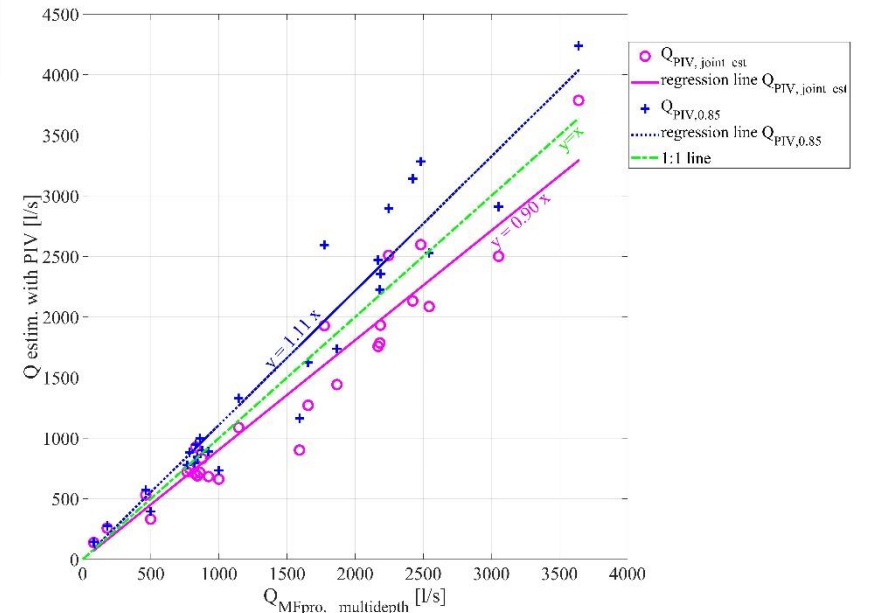
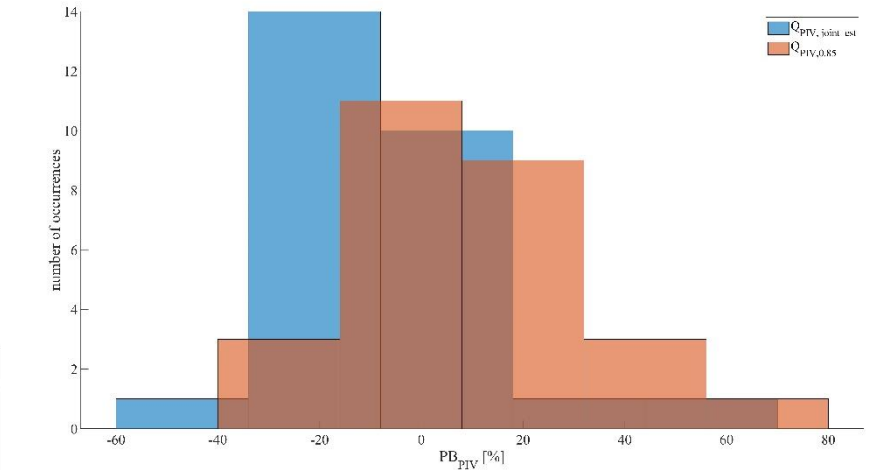
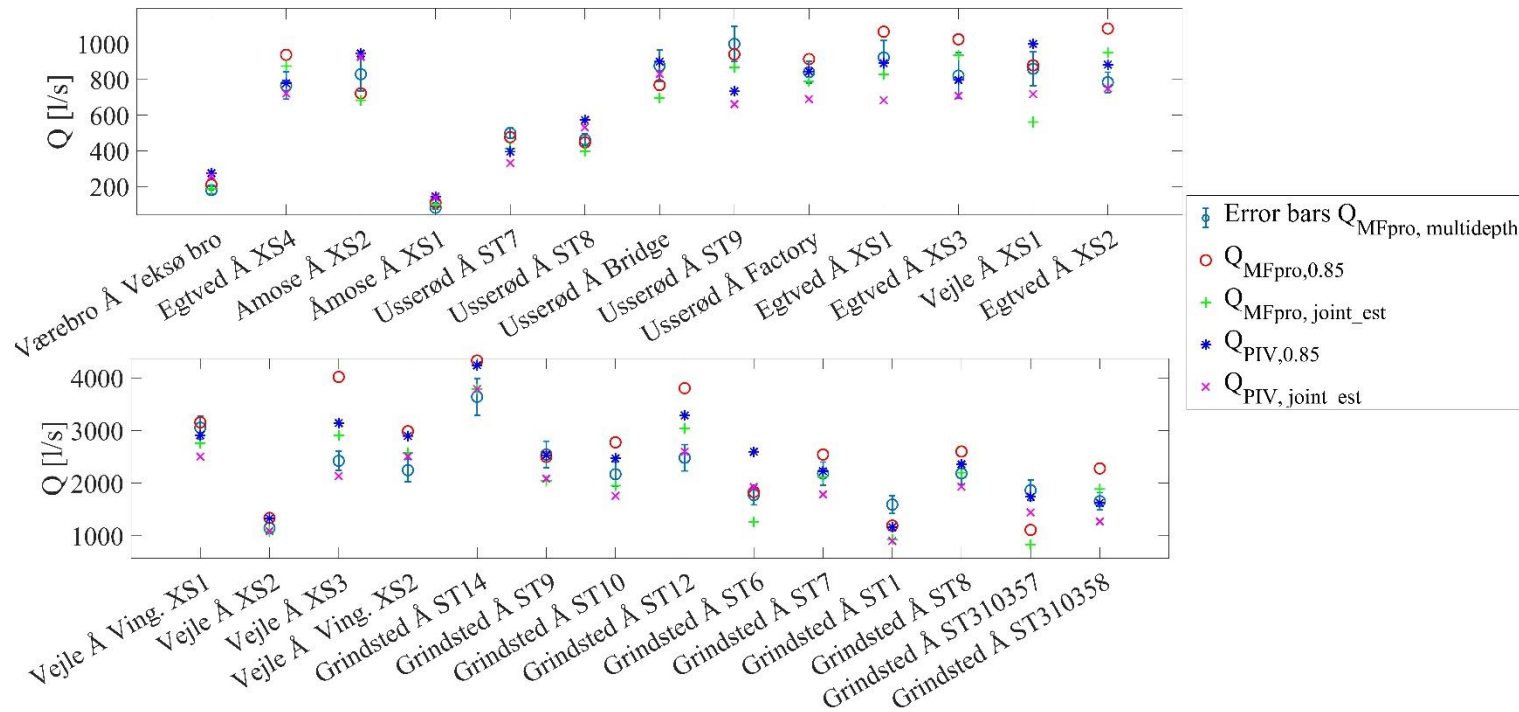
- Udløb, dræn og andre temperaturanomalerier





	491489	6179437	5799,8	11,9	11	10,6	1,3	5,3E-07	265
	491486	6179440	5804,0	11,9	10,7	10	1,9	1,3E-06	266
Udløb_rensningsanlæg	491308	6179504	5993,2	13,6	13,5	13,5	0,1	0,0E+00	282
	491314	6179506	5999,5	13,5	13,1	11,4	2,1	1,3E-06	278
	490998	6179440	6322,3	13,4	11,7	10,4	3	1,6E-06	281
	490997	6179436	6326,5	13,4	12,3	10,9	2,5	1,3E-06	281
	490753	6179502	6579,2	13,6	12,8	12,2	1,4	4,1E-07	281
	490751	6179496	6585,6	13,5	12,7	11,7	1,8	7,5E-07	280
	490451	6179364	6913,3	13,6	13,5	12,6	1	5,3E-07	281
	490455	6179361	6918,3	13,4	12,9	11,4	2	1,2E-06	281

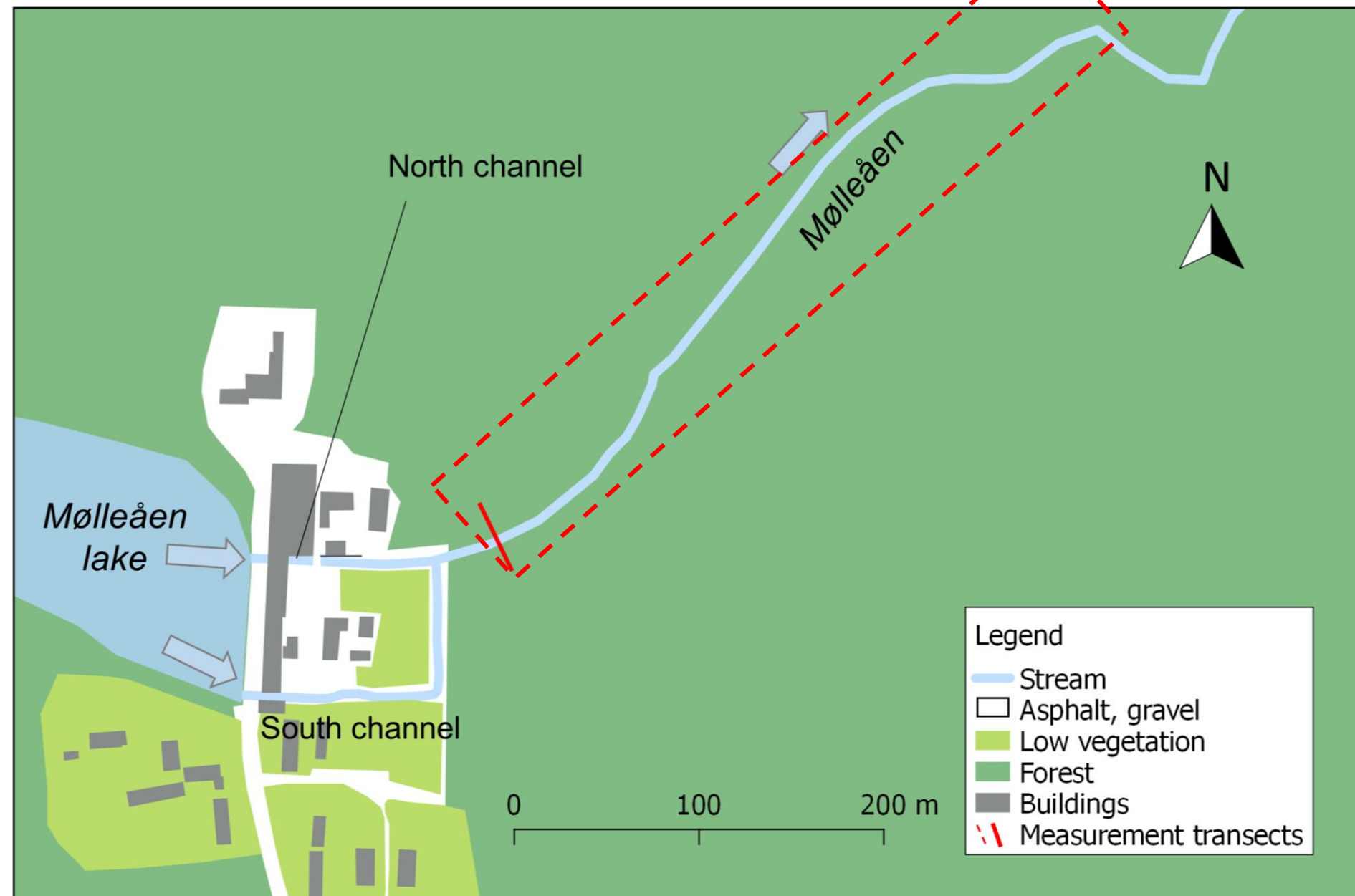
Vandhastigheder og vandføring



Rådvad og tracer test i Mølleåen



Miljøstyrelsen (2016)
Jordforureningers
påvirkning af
overfladevand. Test af
screeningsværktøjet for
overfladevand. Miljøprojekt
nr. 1846.



Vandprøvetagning i vandløb

Hvor skal jeg tage vandprøven i åen?



Hvad er formålet?



In-stream Contaminant Mass Discharge approach

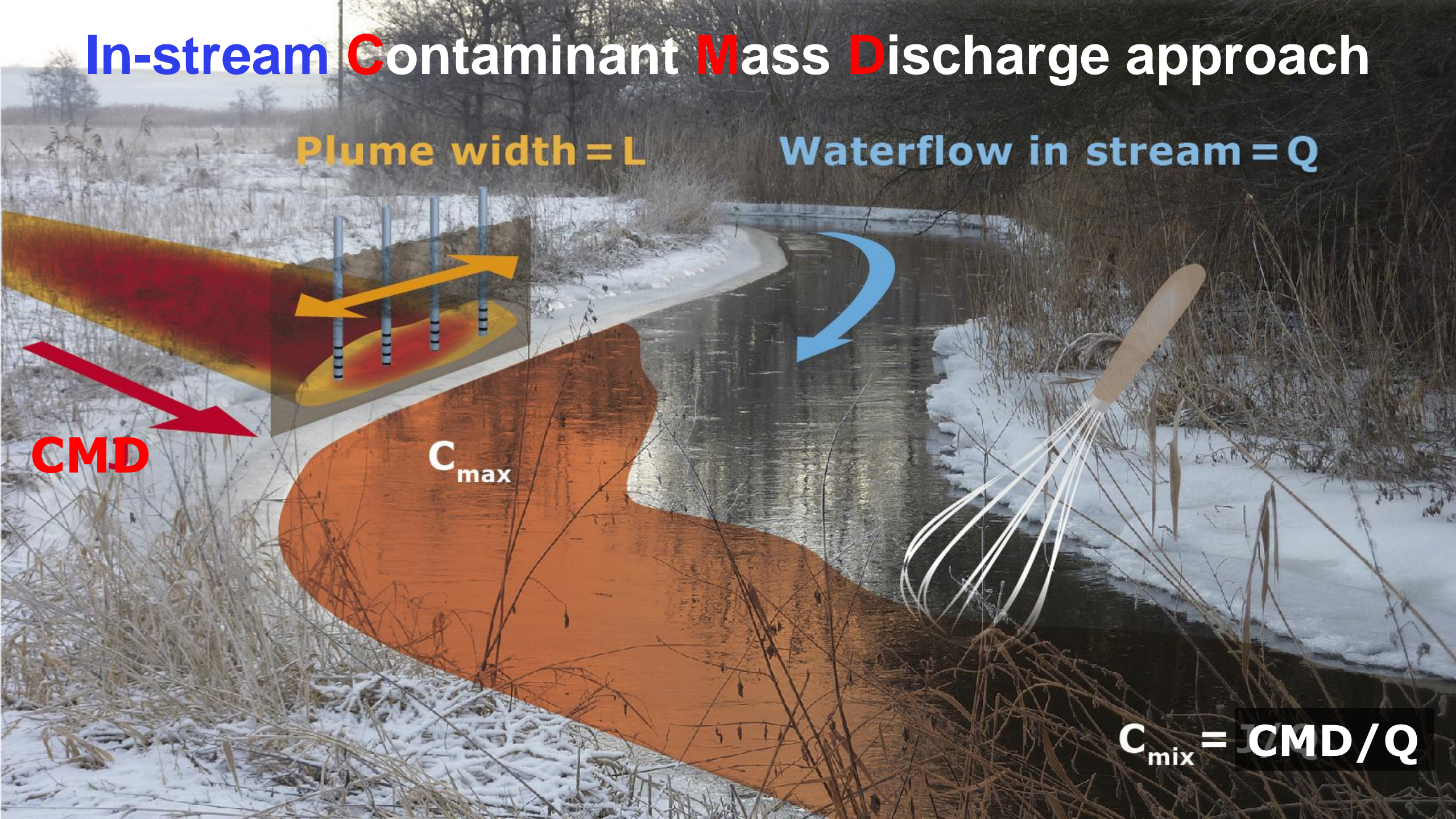
Plume width = L

Waterflow in stream = Q

C_{MD}

C_{max}

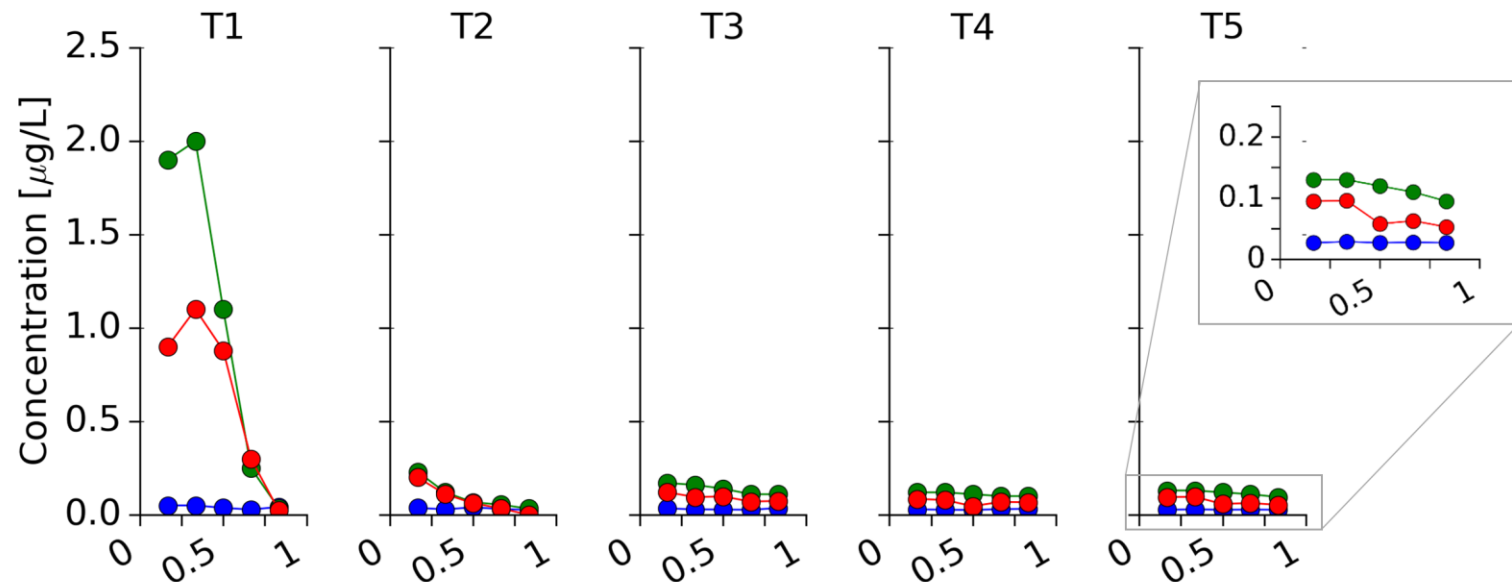
$$C_{mix} = CMD / Q$$



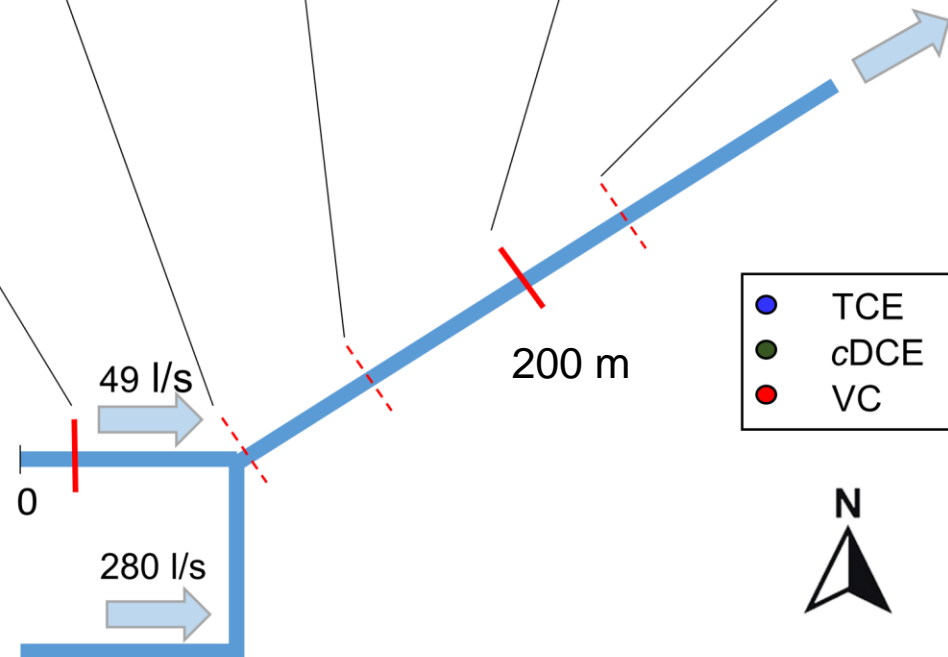
Vandprøver i transekt på tværs af vandløb



Lemaire et al. (2020).
Groundwater Monitoring &
Remediation. 40, 40-51.



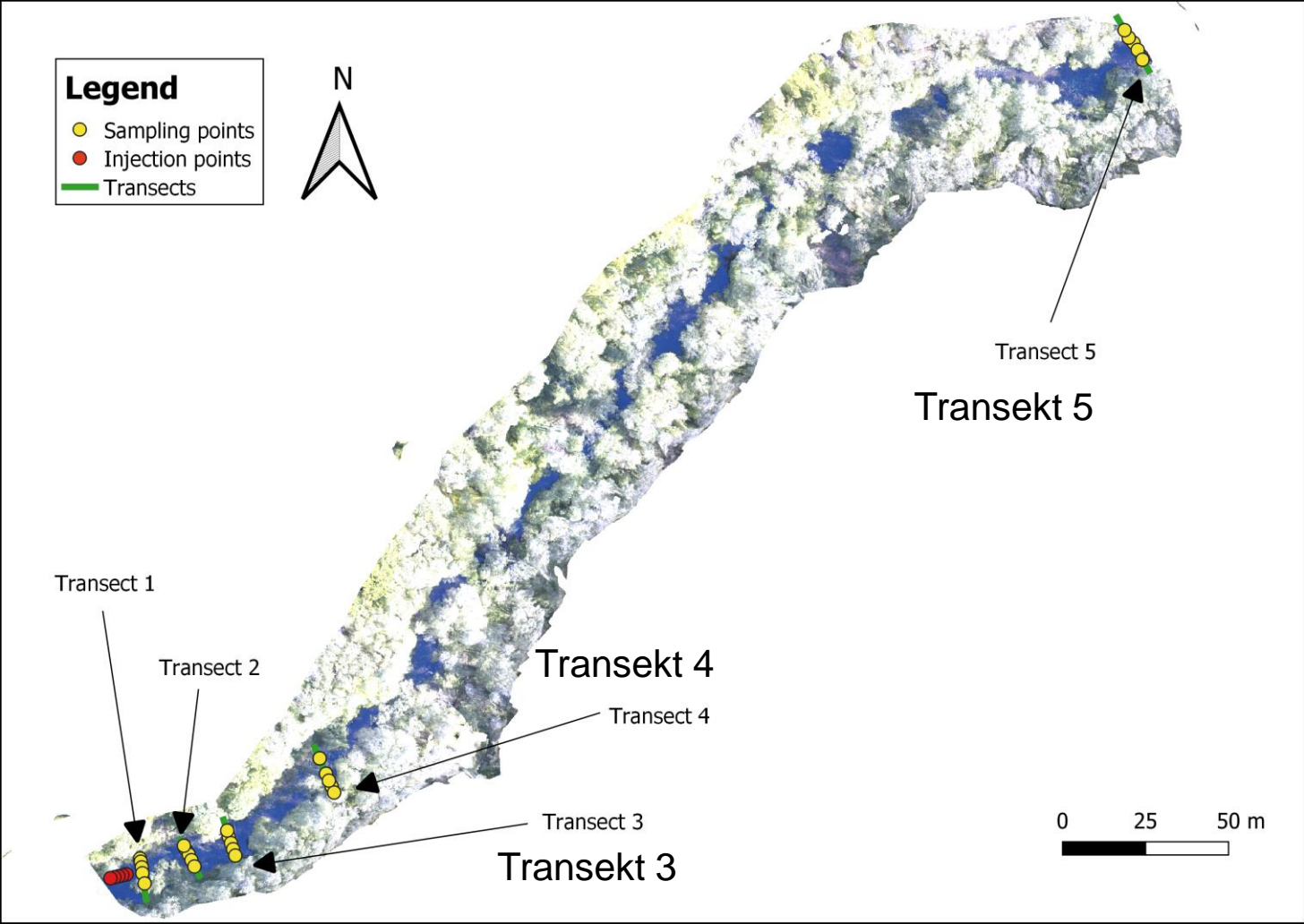
Fortynding med rent vand Opblanding i åen



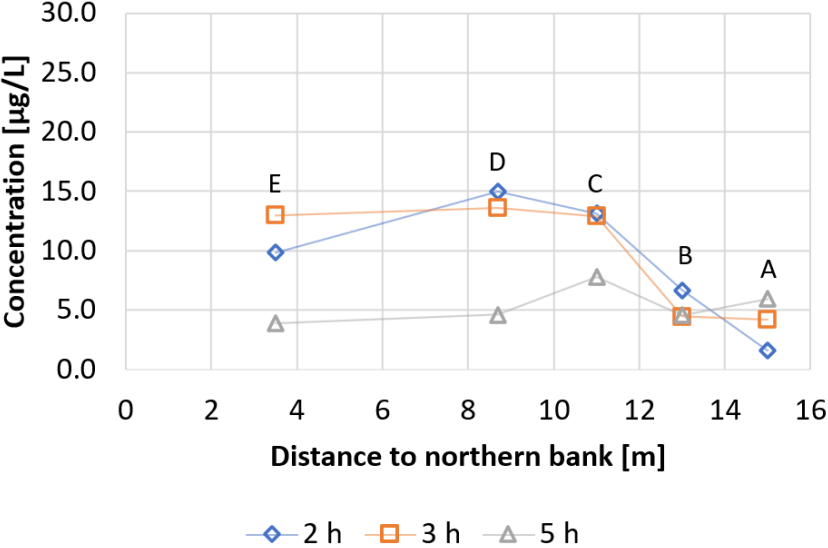
Fortynding og opblanding i vandløb

Tracer test

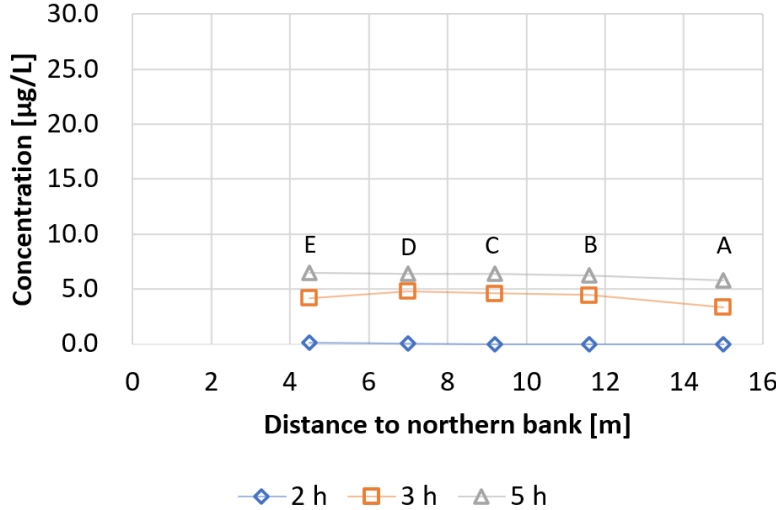
Rhodamin WT koncentrationer



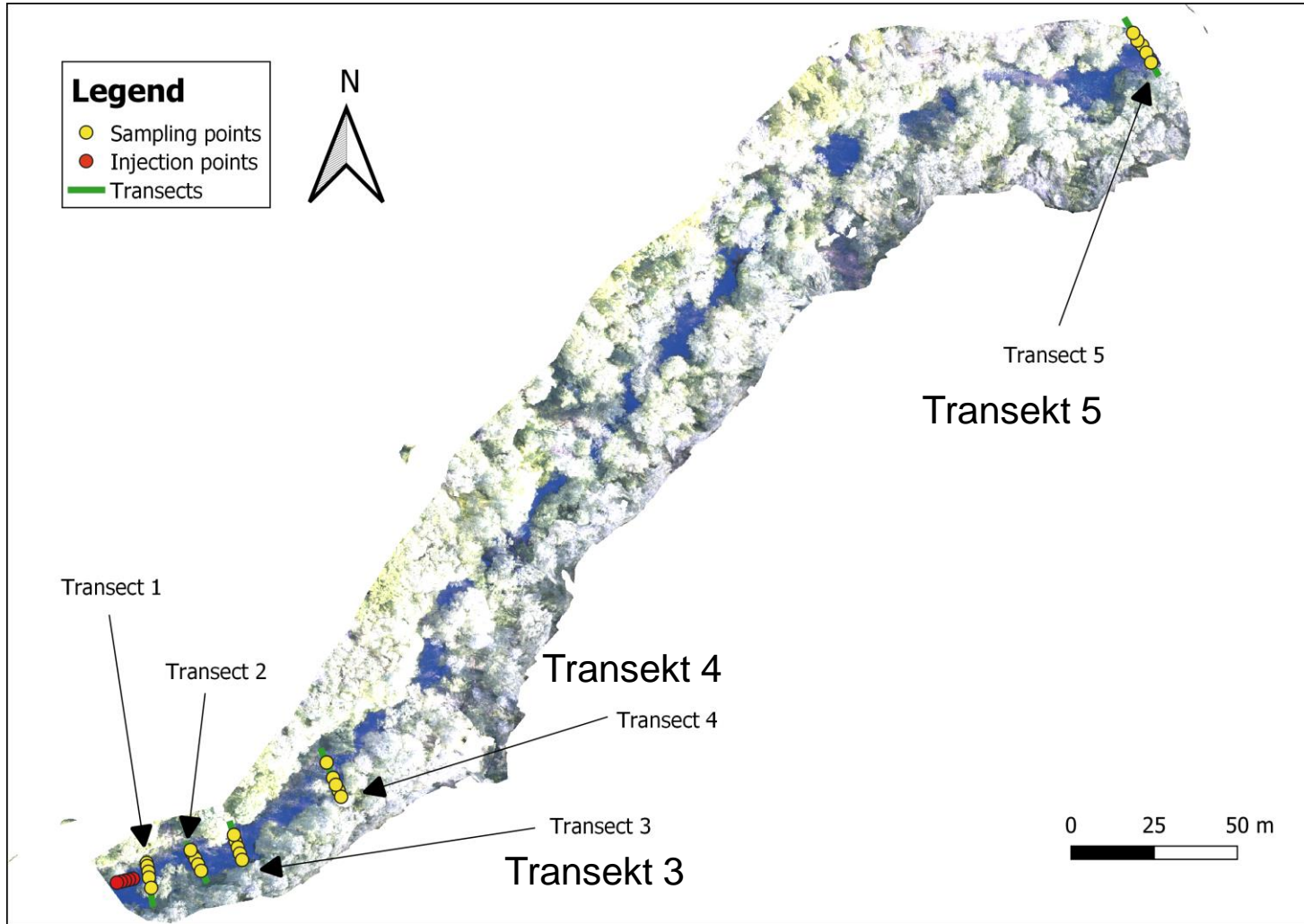
Transekt 4, 74 m



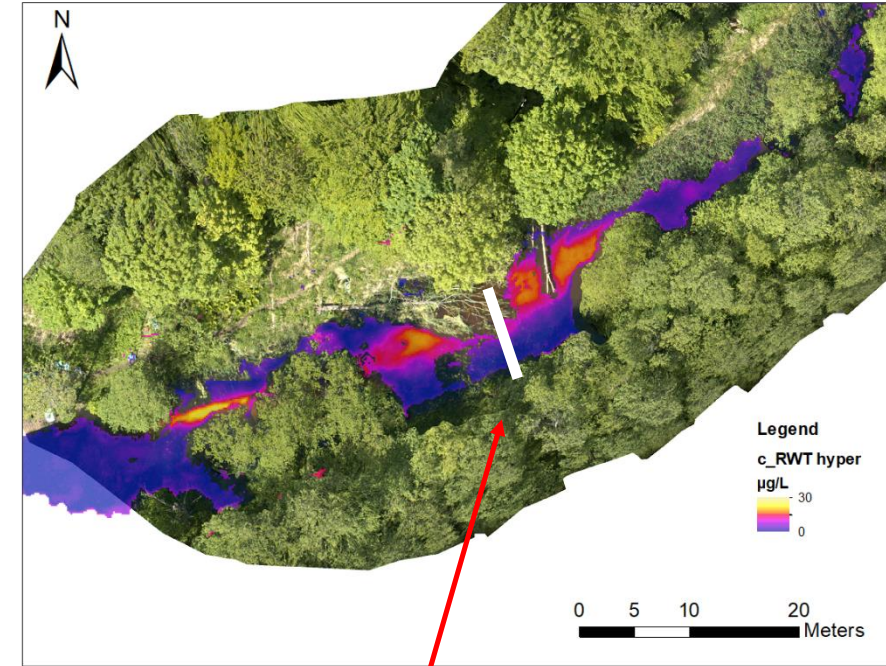
Transekt 5, 427 m



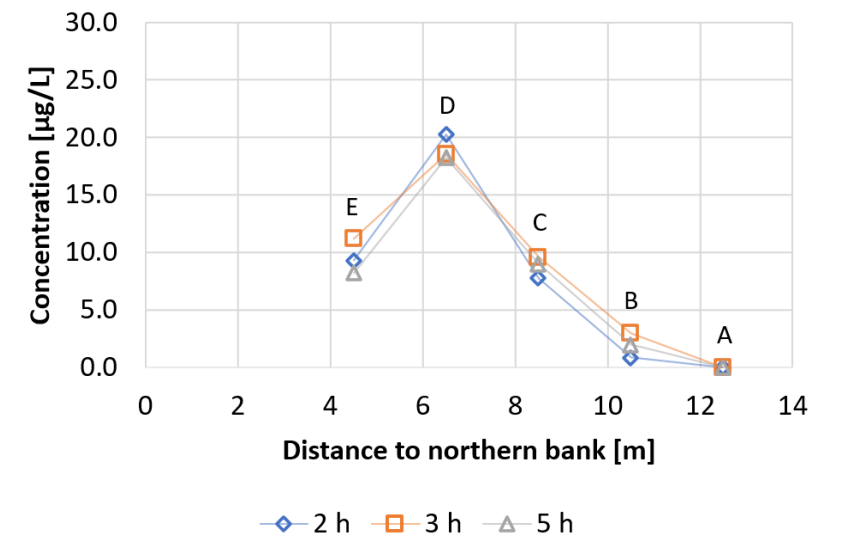
Rhodamin WT koncentrationer



Rhodamin WT fra Hyperspectral data



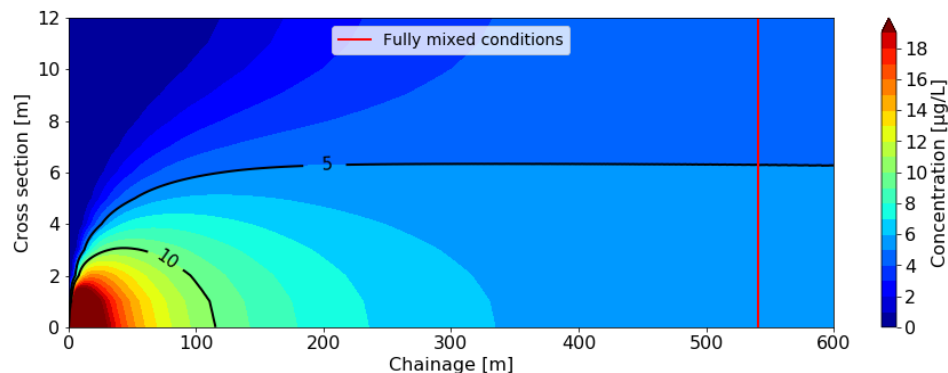
Transect 3, 39 m



Simulering af fortynding og opblanding

Hvad skal vi kende for at beregne koncentrationer i vandløbet?

- Placering af indsigning til vandløb
- Grundvand/dræn/kanaler
- Forureningsflux/Contaminant mass discharge
- Vandføring
- Dybde af vandløb
- Bredde af vandløb
- Hældning af vandløb
- Slyngning af vandløb



- Regneværktøj til at beregne fortynding vandløb:
- **DIMICON**, udviklet på DTU Miljø
- Kan downloades fra dette link:
<http://www.sara.env.dtu.dk/modelvaerktoejer/risikovurdering-af-vandloeb>

The screenshot shows the DIMICON software interface with the following sections:

- En/Da** Input file: ---
- Calculation parameters**
 - Investigated distance [m]: 100
 - Resolution grid dx [m]: 0.25
 - Resolution grid dy [m]: 0.5
- Stream parameters**
 - Depth [m]: 0.2
 - Width [m]: 1
 - Slope [-]: 0.0005
 - Flow rate [m³/s]: 0.01
- Contaminant parameters**
 - Coordinate plume [upstream, m]: 0
 - Plume width [m]: 50
 - Mass discharge [kg/y]: 1
 - C (background) [$\mu\text{g/L}$]: 0
 - Seepage location: Bank
- Output**
 - Output file name: result_dimicon .txt
 - Buttons: Run, Cancel
- Results**
 - Calc. mixing zone = 10 m (10x stream width)
 - Cmz = - $\mu\text{g/L}$
 - Cmix = - $\mu\text{g/L}$
 - Lmix = - m (From upstream edge of plume, based on deviation criteria: +/- 5%)
 - C(max) = - $\mu\text{g/L}$ (at the downstream edge of the plume, dependent on resolution x)

A diagram on the right shows a cross-section of a stream with a plume starting at X=0. The 'Investigated distance' is marked, and the 'Coordinate plume' is shown as a shaded area. The 'Plume width' is indicated at the start. The DTU logo is visible in the bottom right of the diagram.

Brug af drone data giver nye muligheder

- Overblik over vandløbssystemer ved brug af dronebilleder (Aerial RGB photos/ortho mosaic)
- Potentialekort og vandløbskoter (Water surface elevation)
- Rumlig variation af indstrømning og slyngning (Aerial RGB photos/ortho mosaic)
- Identifikation af udsivningsområder fra dræn o.l. (Thermal camera mapping)
- Vandføring og vandløbsprofiler (Water surface velocity and discharge)
- *Vandprøvetagning i vandløb/Hvor skal jeg tage vandprøven i åen?*
- Fortynding og opblanding i vandløb (Tracertest)
- Modellering af fortynding og koncentrationer i vandløb- nøgleparametre

- Vi har erfaringer med vandløbsundersøgelser, forurenede grunde og droner fra:
 - **Grindsted Å**
 - **Mølleåen/Rådvad**
 - **Nivå/Usserød Å**

Tak for opmærksomheden

Spørgsmål?



Picture, Courtesyl Filippo Bandini,
Riverscape



Litteratur, danske rapporter

- Miljøstyrelsen (2019). Methodology for risk assessment of stream water contamination by landfills. Mixing of landfill leachate plumes in streams. [Environmental Project No. 2118](#).
- Miljøstyrelsen (2018). Vandløb påvirket af jordforurening. Tidslig variation i koncentration og vandføring. [Miljøprojekt nr. 2050](#).
- Bigi, G., Bjerg, P.L., McKnight, U.S., Aabling, J. (2018). Investigating stream water quality under conditions of multiple stress. A decision support tool for assessing contaminated sites in relation to other potential sources impacting the stream. 91 p. [Environmental Project No. 2040](#).
- Vezaro, L., Brudler, S., McKnight, U.S., Rasmussen, J.J., Mikkelsen, P.S., Arnbjerg-Nielsen, K. (2018), Operationelle udlederkrav for regnbetingede overløb fra fællessystemer til vandløb. DTU Miljø, Danmarks Tekniske Universitet, Kgs. Lyngby
- Miljøstyrelsen (2016). Jordforureningers påvirkning af overfladevand - test af screeningsværktøjet for overfladevand, [Miljøprojekt nr. 1846, 2016](#).
- Miljøstyrelsen (2015). Guide til indledende undersøgelser af jordforureninger, der udgør en potentiel risiko for overfladevand, [Miljøprojekt 1658, 2015](#)
- Aisopou, A.; Sonne, A. T.; Bjerg, P. L.; Binning, P. J. (2014a). Jordforureningers påvirkning af overfladevand, delprojekt 4: Vurdering af fortynding i vandløb ved påvirkning fra forurenede grunde. København K: Miljøministeriet. Miljøstyrelsen, 69 p. [Miljøprojekt nr. 1572](#).
- Bjerg, P. L.; Sonne, A. T.; Tuxen, N.; Skov Nielsen, S.; Roost, S. (2014b). Risikovurdering af lossepladsers påvirkning af overfladevand. København K: Miljøstyrelsen, 77 p. [Miljøprojekt nr. 1604](#).
- Nielsen, S. S.; Tuxen, N.; Frimodt Pedersen, O.; Bjerg, P. L.; Sonne, A. T.; Binning, P. J.; Fjordbøge, A. S.; Aabling, J. (2014c). Risikovurdering af overfladevand, som er påvirket af punktkildeforurenede grundvand. København K: Miljøministeriet. Miljøstyrelsen, 175 p. [Miljøprojekter; No. 1575](#).

Litteratur, engelske artikler

- Aisopou, A.; Bjerg, P.L.; Sonne, A.T.; Balbarini, N.; Rosenberg, L.; Binning, P.J. (2015). Dilution and volatilisation of groundwater contaminant discharges in streams. *Journal of Contaminant Hydrology*, 172, 71-83.
- Bandini, F.; Lüthib, B.; Salvador Peña-Harob, S.; Borsta, C.; Liua, J.; Karagkiolidou, S.; Huc, X.; Lemaire, G.G., Bjerg, P.L. Bauer-Gottwein, P. (2021). A drone-borne method to jointly estimate discharge and Manning's roughness of natural streams. *Water Resources Research*. 57, e2020WR028266.
- Cremeans, Mackenzie; Devlin, J.; McKnight, U. S.; Bjerg, P. L. (2020). A Comparison of Tools and Methods for Estimating Groundwater-Surface Water Exchange. *Groundwater monitoring and remediation*. 40, 24-34.
- Cremeans, Mackenzie; Devlin, J.; McKnight, U. S.; Bjerg, P. L. (2018). Application of New Point Measurement Device to Quantify Groundwater-Surface Water Interactions. *Journal of Contaminant Hydrology*. [211](#), 85-93.
- Lemaire, G.G, McKnight, U.S., Schulz, H., Roost, S. Bjerg, P.L. (2020). Evidence of spatio-temporal variations in contaminants discharging to a peri-urban stream. *Groundwater Monitoring & Remediation*. doi: 10.1111/gwmr.12371. 40, 40-51..
- McKnight, U.S.; Rasmussen, J.J.; Kronvang, B, Binning, P.J.; Bjerg, P.L. (2015). Sources, occurrence and predicted aquatic impact of legacy and contemporary pesticides in streams. *Environmental pollution*, 200, 64-76.
- McKnight, Ursula S.; Rasmussen, Jes J.; Kronvang, Brian; Bjerg, Poul L.; Binning, Philip J. (2012). Integrated assessment of the impact of chemical stressors on surface water ecosystems. *Science of the Total Environment*, 427-428, 319–331.
- Milosevic, Nemanja; Thomsen, Nanna I.; Juhler, René K.; Albrechtsen, Hans-Jørgen; Bjerg, Poul L. (2012). Identification of discharge zones and quantification of contaminant mass discharges into a local stream from a landfill in a heterogeneous geologic setting. *Journal of Hydrology*. 446-447, 13-23.
- Rasmussen, J.J.; McKnight, U.S.; Sonne, A.Th.; Wiberg-Larsen, P.; Bjerg, P.L. (2016). Legacy of a Chemical Factory Site: Contaminated Groundwater Impacts Stream Macroinvertebrates. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 70, 2, 219-230.
- Rønde, V.; McKnight, U.S.; Sonne, A.Th.; Balbarini, N.; Devlin, J.F.; Bjerg, P.L. (2017). Contaminant mass discharge to streams: comparing direct groundwater velocity measurements and multi-level groundwater sampling with an in-stream approach. *Journal of Contaminant Hydrology*. 206, 43-54.
- Sonne, A.T.; McKnight, U.S.; Rønde, V.; Bjerg, P.L. (2017). Assessing the chemical contamination dynamics in a mixed land use stream system. *Water Research*, 125, 141-151.
- Sonne; A.T.; Rasmussen, J.J. Höss, S.; Traunspurger, W.; Bjerg, P.L.; McKnight, U.S. (2018). Linking ecological health to co-occurring organic and inorganic chemical stressors in a groundwater-fed stream system. *Science of the Total Environment*. 642, 1153-1162.